

Harlenn dos Santos Lopes¹ORCID: [0000-0002-7171-8621](https://orcid.org/0000-0002-7171-8621)**Luis Felipe Cardoso Góes²**ORCID: [0009-0004-0195-839X](https://orcid.org/0009-0004-0195-839X)**Renato da Silva Lima³**ORCID: [0000-0002-5824-6607](https://orcid.org/0000-0002-5824-6607)

1 Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Professor Adjunto
Universidade Federal do Pará (UFPA)
harlenn@ufpa.br

2 Graduação em Engenharia de Produção (UFPA)
Santos Brasil S. A.
feliipee462@outlook.com

3 Doutorado em Engenharia de Transportes
Universidade de São Paulo (USP)
Professor Titular (UNIFEI)
rslima@unifei.edu.br

Recebido em: 07/10/2021

Aceito em: 19/07/2024

RESUMO

Este estudo tem como objetivo minimizar o custo total de transporte da soja produzida na região do MATOPIBA, destinada à exportação, a partir da proposição e implementação de um modelo matemático baseado em programação linear. O trabalho foi elaborado considerando 11 origens, representadas pelas mesorregiões produtoras de quatro estados: Maranhão Piauí, Tocantins e Bahia, e os dois principais destinos internacionais da soja brasileira: os Portos de Xangai e Hamburgo, considerando rotas via Canal do Panamá e Cabo da Boa Esperança, utilizando 10 portos brasileiros para transbordo. Foram elaborados oito cenários, alterando capacidade dos portos, quantidade ofertada e demandada e rotas internas. Os cenários construídos com maior número de rotas multimodais geraram os menores custos de transporte, sempre indicando a exportação para Xangai através do Cabo da Boa Esperança. Foram realizadas análises de exportações, para os anos de 2017 e 2027, analisando também qualitativamente o comportamento do sistema, no ano de 2024. O estudo também permitiu analisar a utilização dos portos brasileiros a partir de alterações de capacidades, prevendo possíveis investimentos na estrutura de transportes destas regiões.

Palavras-chave: Custos de transporte; MATOPIBA; Soja; Logística; Transbordo

ABSTRACT

This study aims to minimize the total cost of transporting soybeans produced in the MATOPIBA region, destined for export, based on the proposition and implementation of a mathematical model based on linear programming. The work was prepared considering 11 origins, represented by the producing mesoregions of the 4 states: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia MATOPIBA and the 2 main international destinations for Brazilian soy, the Ports of Shanghai and Hamburg, considering routes via the Panama Canal and Cape of Good Hope, using 10 Brazilian ports for transshipment. Eight scenarios were created, changing port capacity, quantity supplied and demanded, and international routes. Plans built with the most multimodal routes generated the lowest transport costs, always importing exports to Shanghai via the Cape of Good Hope. Export analyses were carried out for the years 2017 and 2027, and the system's behavior was qualitatively analyzed in the year 2024. The study also made it possible to analyze the use of Brazilian ports based on changes in capacity, avoiding possible investments in the transport structure of these regions.

Keywords: Transportation costs; MATOPIBA; Soybean; Logistics; Transshipment

Código JEL: M11; L91; Q02

INTRODUÇÃO

As exportações de commodities agrícolas têm se apresentado cada vez mais presentes na economia brasileira, totalizando US\$ 159,09 bilhões no ano de 2022, com elevação de 32% em comparação ao ano de 2021, sendo o complexo soja o líder destas exportações, com mais de 38% do total exportado pelo agronegócio brasileiro (SCRI, 2023).

Ao longo dos anos, a produção agropecuária brasileira vem evoluindo, sendo também um dos maiores exportadores desses produtos (Correa; Ramos, 2010; Lopes; Lima, 2017). O setor agropecuário apresenta uma grande importância para a economia nacional, com o agronegócio representado 33% das riquezas produzidas no Brasil (Salin, 2017; Lopes et al., 2017a).

A soja é a principal oleaginosa cultivada no mundo, com o Brasil em posição de destaque. Em 2013, o país tornou-se o maior exportador mundial de soja em grão, com 42,8 milhões de toneladas exportadas (Salin, 2015). Entretanto, com o aumento na produção e exportação de soja, Almeida et al. (2013) destacam que o Brasil vem enfrentando alguns desafios para transportar grandes quantidades do grão produzido no interior do país para o litoral.

Um estudo realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (Brasil, 2016), estimou que a produção de soja até 2025/26 terá um crescimento de 35,1% em relação à safra de 2015/16, chegando a 129,2 milhões de toneladas de soja. Todavia, em 2022/2023, a safra de soja no Brasil alcançou a marca de 125,6 milhões de toneladas, valor bem próximo à previsão considerada para a safra 2025/26.

Apesar da maior parte da produção se concentra nas regiões Centro-Oeste e Sul, há uma outra região que vem ganhando destaque nos últimos anos. Esta região é denominada MATOPIBA, e envolve os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, pertencentes às regiões Norte e Nordeste, novas fronteiras de desenvolvimento da soja no Brasil. Esta região vem ganhando destaque na produção de grãos. Nos últimos dez anos, sua produção de grãos aumentou 92%, passando de 18 milhões de toneladas (safra 2013/14) para as atuais 35 milhões de toneladas em 2023 (COMEX STAT, 2024).

A maior parte da soja brasileira exportada é escoada para o mercado internacional pelos portos das regiões Sul e Sudeste, com destaque para os portos de Santos (SNT), localizado no estado de São Paulo, Paranaguá (PRG), no estado do Paraná e Rio Grande (RGD), no estado do Rio Grande do Sul. (COMEX STAT, 2024; Lopes; Lima, 2017). Entretanto, nos últimos anos, verifica-se o crescimento de portos localizados nas regiões Norte e Nordeste, como os portos de Barcarena (BAR), no estado do Pará, Itaqui (ITQ), no Maranhão, Salvador (SSA), na Bahia, entre outros localizados nestas regiões.

O preço da soja é estabelecido de acordo com a Bolsa de Mercadorias de Chicago (BMC). Ou seja, para obter uma margem de contribuição maior, o produtor/exportador não consegue alterar o preço de venda, necessitando assim da redução de seus custos de produção e custos logísticos, sendo estes os que oferecem maior possibilidade. Vale ressaltar que somente o transporte interno representa cerca de 20% do valor total da soja (Lopes, Lima e Leal, 2020; Salin, 2015).

Com base na preocupação com os custos logísticos, o governo prevê e vem implantando melhorias de rotas de transporte, com apoio de iniciativas privadas, que facilitarão o escoamento da produção de grãos e minérios para estes portos (Brugnera; Dalchiavon, 2017; Lopes et al, 2020).

Ao longo da elaboração deste projeto, há uma necessidade de reduzir custos logísticos através da otimização de rotas, tendo em vista a exportação de soja, principalmente para a China,

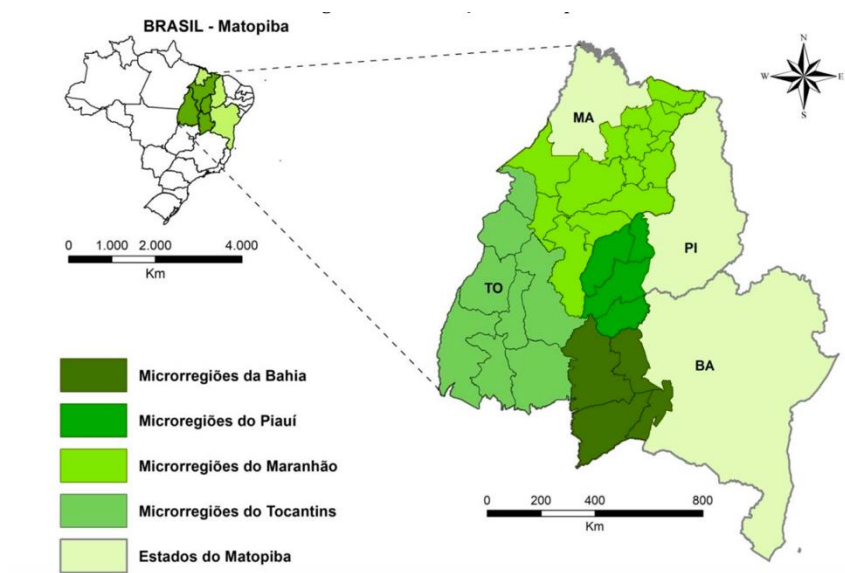
principal importadora do grão. Para a China, além do trajeto pelo cabo da Boa Esperança, há a alternativa via canal do Panamá, o qual passou por reformas no ano de 2016, ampliando a estrutura para reduzir filas e facilitar os processos de transporte de navios graneleiros. Neste caso, a soja do MATOPIBA dispõe de alternativas que podem ser analisadas de acordo com os custos logísticos de transporte, para o escoamento do grão pelos portos das regiões Norte e Nordeste.

Embora o agronegócio da soja exerça papel crucial para a economia brasileira e a região do MATOPIBA desperte interesse no mercado agrícola nacional, a literatura existente até o momento ainda carece de estudos sobre o desempenho exportador da soja nessa região. A fim de minimizar os custos de transporte incorridos no escoamento da soja produzida no MATOPIBA destinada à exportação e subsidiar a decisão estratégica em investimentos e infraestrutura esta pesquisa desenvolveu um modelo matemático baseado em Programação Linear, apresentando as melhores rotas, em função do direcionamento e quantidade de carga aos pontos de transbordo e destinos finais, com base em diversos cenários logísticos.

A REGIÃO MATOPIBA

Nos últimos anos, a região MATOPIBA tem ganhado maior destaque no cenário agrícola brasileiro. A topografia plana, os solos profundos e o clima favorável ao cultivo das principais culturas de grãos e fibras possibilitaram o crescimento vertiginoso da região (Borghetti *et al.*, 2014). A Figura 1 destaca as seguintes unidades federativas brasileiras pertencentes à região.

Figura 1: A região MATOPIBA



Fonte: Rufo (2015).

Na década de 2010, a produção de grãos no MATOPIBA aumentou 92%, passando de 18 milhões de toneladas (safra 2013/14) para as atuais 35 milhões de toneladas em 2023. Este fator se deve ao aumento da produtividade, investimentos em tecnologias e abertura de novas áreas. Um crescimento superior, comparado com a média de crescimento agrícola do Brasil de 2,5% ao ano (Brasil, 2023). Em decorrência deste crescimento, os municípios ligados ao agronegócio da região apresentam crescimento maior que os municípios de outras regiões do Brasil. (Brugnera; Dalchiavon, 2017).

No ano de 2017, os estados da região do MATOPIBA exportaram 7,82 milhões de toneladas de soja em grão, com destaque para a Bahia, que desse total, foi responsável pela exportação de 3,09 milhões de toneladas, número considerado proporcional, devido ao estado apresentar maior produção na região (COMEX STAT, 2024). Sendo assim, é possível visualizar a quantidade de soja exportada em 2017 e seu percentual na Tabela 1.

Tabela 1: Exportação de soja do MATOPIBA, 2017

Estados	Ton. Exportadas	%
Bahia	3.096.844	40%
Tocantins	2.014.962	26%
Maranhão	1.888.092	24%
Piauí	821.019	10%
Total	7.820.916	100%

Fonte: COMEX STAT (2024)

Brugnera e Dalchiavon (2017) descrevem o escoamento da soja do MATOPIBA rumo à exportação, comprovando que a maior parte da soja é transportada via malha rodoviária. Ao citar os portos utilizados pela região, a Tabela 2 demonstra as quantidades de soja exportada pela região e seus respectivos portos marítimos no ano de 2017.

Tabela 2: Portos utilizados pelo MATOPIBA, em 2017, para exportação de soja

Portos de destino	Toneladas	Percentual
Itaqui (MA)	4.436.570,56	56,73%
Salvador (BA)	3.153.224,90	40,32%
Barcarena (PA)	117.746,53	1,51%
Ilhéus (BA)	89.918,52	1,15%
Rio Grande (RS)	11.065,22	0,14%
Santos (SP)	7.962,64	0,10%
Vitória (ES)	4.200,00	0,05%
Pacaraima (RR)	228	0,00%
Total	7.820.916,37	100%

Fonte: COMEX STAT (2024)

Com base na Tabela 2, o Porto de Itaqui e apresenta como mais utilizado pela região, devido sua localização e acesso proporcionarem maior facilidade. Brugnera e Dalchiavon (2017) afirmam que para maior facilidade de acesso aos portos da região Nordeste, há projetos do governo em andamento, como a construção das ferrovias Transnordestina, Integração e Oeste-Leste, que se tornariam facilitadoras no transporte da soja do interior rumo aos portos exportadores do Arco Norte, principalmente os portos de Salvador e Ilhéus, na Bahia, além da utilização dos Portos de Suape, em Pernambuco e Pecém, no Ceará.

A literatura científica sobre o MATOPIBA ainda é considerada escassa, com alguns relatórios técnicos e notícias servindo como base de referência. Na base de dados Science Direct, por exemplo, o termo MATOPIBA possui apenas 122 trabalhos, englobando todas as áreas

possíveis. Quando termos referentes à logística, agronegócio e soja são adicionados à pesquisa, os trabalhos se resumem a 16, 10 e 7, respectivamente. No *Google Scholar*, estes valores são um pouco maiores, mas com resultados repetidos, relatórios técnicos ou trabalhos que abordam cadeias produtivas auxiliares, como fertilizantes para o agronegócio da soja abordado por Horvat, Watanabe e Yamaguchi (2015) ou trabalho com abrangência nacional ou internacional, não focando diretamente na região do MATOPIBA, como Lopes, Lima e Leal (2020), por exemplo.

Entre os trabalhos mais particulares, destacam-se os trabalhos de Brugnera e Dalchiavon (2017) e Oliveira et al (2022), que analisam a logística ferroviária para a região, sendo que este analisa particularmente os impactos da Ferrovia Norte-Sul para viabilidades portuárias e aquele apresenta um panorama geral e de expansão ferroviária. Alguns trabalhos não são focados particularmente na logística e sim no agronegócio, como Agostinho et al. (2023), que analisam a dinâmica sustentável a partir dos impactos da expansão agrícola do MATOPIBA e, então, inserem a logística como um dos vetores de impactos.

O PROBLEMA DE TRANSPORTE E O PROBLEMA DE TRANSBORDO

O Problema de Transporte pode ser considerado como um modelo particularizado de Programação Linear (PL), devido a sua diversidade de aplicações em sistemas de transporte de mercadorias. A PL é uma das principais ferramentas da Pesquisa Operacional (PO), em que a função objetivo e as restrições do modelo são caracterizadas por funções lineares (Arenales *et al.*, 2007; Loesch; Hein, 2009)

Neste trabalho, é aplicado o Problema de Transbordo, um caso particular do problema de transporte, em que transbordos intermediários são realizados entre a origem e o destino. O estudo foi baseado na metodologia proposta por Belfiore e Fávero (2013) e Arenales *et al.* (2007), incorporando variáveis específicas do sistema estudado. Assim, o modelo matemático geral para o sistema estudado é formulado de acordo com as equações a seguir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o [(c_{ik} d_{ik}) + (c_{kj} d_{kj})] \cdot x_{ij,k} \quad (1)$$

Seguindo às seguintes restrições gerais:

- Composição de custos:

Para c_{ik} , da origem até os portos exportadores (pontos de transbordo), temos:

$$c_{ik} = c_r + c_f + c_h + c_{mult} \quad (2)$$

Em que:

c_r : Custo de transporte rodoviário, em R\$/TON.km;

c_f : Custo de transporte ferroviário, em R\$/TON.km;

c_h : Custo de transporte hidroviário, em R\$/TON.km;

c_{mult} : Custo de multimodalidade, em R\$/TON.km.

Sendo

$$mult \geq 0$$

$$c_{mult} \geq mult \cdot c_{multunit}$$

Em que:

$mult$ = Número de multimodalidades para x_{ik}

$c_{multunit}$ = Custo unitário de multimodalidade, em R\$/TON.km

Para c_{kj} (do ponto de transbordo k até o destino final j), temos:

$$c_{kj} = c_m \tag{3}$$

Em que:

c_m = Custo de transporte marítimo, em R\$/TON.km

- Capacidade dos portos:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij,k} \leq K_k, \text{ para } k = 1, \dots, o \tag{4}$$

- Oferta das origens:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij,k} \leq a_i, \text{ para } i = 1, \dots, m \tag{5}$$

- Quantidade demandada:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij,k} \geq b_j, \text{ para } j = 1, \dots, n \tag{6}$$

- Igualdade das quantidades

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq \sum_{j=1}^n x_{kj}, \text{ para } k = 1, \dots, k \tag{7}$$

- Condições de não negatividade:

$$x_{ij,k} \geq 0, \text{ para } i = 1, \dots, m; o = 1, \dots, k; j = 1 \tag{8}$$

Em que:

m : número de origens produtoras de soja;

n : número de portos importadores ou destinos finais;

o : número de portos exportadores ou pontos de transbordo;

K_k : capacidade do porto exportador k ;

a_i : quantidade ofertada em cada origem i ;

b_j : quantidade demandada em cada destino j ;

c_{ik} : custo da movimentação logística entre a origem i até o porto exportador k ;

d_{ik} : distância entre a origem i até o porto exportador k ;

c_{kj} : custo da movimentação logística entre o porto exportador k até o destino j ;

d_{kj} : distância entre o porto exportador k até o destino j ;

$x_{ij,k}$: quantidade transportada da origem i até o destino j , através do porto exportador k ;

Z: custo total da operação logística.

O SISTEMA ESTUDADO

Esta pesquisa foi realizada experimentalmente em 2019, com a produção da safra de 2017, consolidada como base de dados. As projeções foram realizadas para a própria safra de 2017, a fim de validar o sistema e para 2027, dadas as projeções de crescimento. Em 2024, porém, é realizado já um comparativo entre as projeções e o sistema real.

Origens

Como origens do sistema, são consideradas as cidades de maior índice de produção de soja, referentes a cada mesorregião dos estados do MATOPIBA, sendo estas: Oeste Maranhense (OMA), Centro Maranhense (CMA), Leste Maranhense (LMA), Sul Maranhense (SMA), Ocidental Tocantins (OCT), Oriental Tocantins (ORT), Norte Piauiense (NPI), Centro-Norte Piauiense (CNP), Sudoeste Piauiense (SDP), Extremo Oeste Baiano (EOB) e Vale São Franciscano da Bahia (VSF).

Destinos

Os portos de Xangai (XNG), na China, e Hamburgo (HAM), na Alemanha são os dois destinos para a exportação considerados, por serem os dois maiores portos importadores da soja brasileira, correspondendo a mais de 80% da soja brasileira destinada à exportação (Salin, 2017; Lopes et al., 2017a).

Transbordos

Foram considerados os portos da região Norte e Nordeste, juntamente com os portos de Santos e Vitória, devido a melhor distribuição espacial com relação as distâncias, pois se trata de um estudo para analisar potencialidades e redução de custos. Os portos considerados no trabalho foram Itaqui (ITA), no estado do Maranhão, Barcarena (BAR) e Santarém (STM), no estado do Pará, Salvador (SAL) e Ilhéus (ILH), no estado da Bahia, Santos (SNT), no estado de São Paulo, Pecém (PEC), no estado do Ceará, Suape (SUA), no estado de Pernambuco, Vitória (VIT), no estado do Espírito Santo e Itacoatiara (ITC), no estado do Amazonas. A seguir, são explicadas as rotas para os portos exportadores:

- Porto do Itaqui: As cidades de origem do Tocantins apresentam multimodalidade no fluxo da soja rumo ao porto do Itaqui, devido a malha da Ferrovia Norte-Sul (FNS) apresentar-se como opção viável no transporte. Sendo assim, o transporte da cidade de Caseara é feito por rodovia até o terminal de Porto Franco (MA), e a partir deste ponto segue pela FNS e Ferro Carajás até Itaqui. Já para a cidade de Mateiros, utiliza-se rodovias até o terminal de Palmas (TO), seguindo a partir deste ponto por meio da FNS e Ferro Carajás, até o porto do Itaqui. As demais rotas das cidades do MATOPIBA em direção ao porto do Itaqui serão realizadas por meio rodoviário.
- Porto de Salvador: As rotas para o porto de Salvador foram consideradas por meio rodoviário, visto que os acessos via multimodal para este ponto ainda estão sendo planejados pelo Governo Federal.

- Porto de Barcarena: Os acessos para Barcarena foram considerados, em primeiro caso, somente com a utilização de rodovias. Porém, fez-se também uma análise de uma rota potencial utilizando rodovia até a cidade de Conceição do Araguaia (PA), seguindo pelo modal hidroviário até o porto de Barcarena. Vale destacar que esta rota multimodal ainda não se encontra em operação.
- Porto de Itacoatiara: Utilização de rodovias das origens até a cidade de Porto Velho (RO), seguindo pelo modal hidroviário do Rio Madeira, até ITC.
- Porto de Santarém: Utilização de rodovias das origens até a cidade de Itaituba (Porto de Miritituba), seguindo pelo modal hidroviário até STM.
- Porto do Pecém: Transporte por rodovias das origens até o porto do Pecém. Vale ressaltar que este porto não exporta soja, porém será considerado em alguns cenários para potenciais análises de utilização de alternativas portuárias para a região MATOPIBA.
- Porto de Suape: Transporte por rodovias das origens até o porto de Suape. Este porto se apresenta no mesmo cenário que o porto do Pecém, em que não exporta soja atualmente e será considerado para compor alternativas e possíveis direcionamentos de investimentos.
- Porto de Ilhéus: Utilização de rodovias das origens até o porto de Ilhéus.
- Porto de Vitória: Utilização de rodovias até o terminal de Pirapora (MG), seguindo pelo modo ferroviário até o porto de Vitória.
- Porto de Santos: Transporte por rodovias das origens até o porto de Santos.

A partir destas definições de rotas, é possível fazer a contabilização das distâncias de cada origem, para cada ponto de transbordo, e posteriormente, até os destinos finais.

Distâncias e rede de transporte

Para o estudo dos fluxos da soja, foram obtidos os valores das distâncias de cada origem para cada porto exportador, de acordo com o modal de transporte a ser utilizado. A Tabela 3 demonstra as distâncias e o modo de transporte utilizado.

As distâncias para o transporte marítimo foram calculadas com base em dados disponibilizados por Salin (2018) e *Sea Distance* (2018). A rede que representa os fluxos de transporte da soja desta pesquisa encontra-se na Figura 2.

Tabela 3: Distâncias entre as origens e os pontos de transbordo, em km

Mesorregião	Cidade Origem	Itaqui (MA)			Salvador (BA)			Barcarena (PA)			Itacoatiara (AM)			Santarém (PA)		
		R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H
Oeste (MA)	Açailândia	569	-	-	1.813	-	-	504	-	-	2.482	-	1.100	1.226	-	259
Centro (MA)	Grajaú	571	-	-	1.557	-	-	759	-	-	2.689	-	1.100	1.434	-	259
Leste (MA)	Brejo	321	-	-	1.399	-	-	976	-	-	3.154	-	1.100	1.898	-	259
Sul (MA)	Balsas	821	-	-	1.455	-	-	961	-	-	2.776	-	1.100	1.521	-	259
Ocidental (TO)	Caseara	594	691	-	1.701	-	-	1.046	-	-	2.508	-	1.100	1.566	-	259
Oriental (TO)	Mateiros	305	1.195	-	1.179	-	-	1.403	-	-	3.201	-	1.100	1.922	-	259
Norte (PI)	Piracuruca	567	-	-	1.353	-	-	1.222	-	-	3.356	-	1.100	2.100	-	259
Centro-Norte (PI)	Regeneração	582	-	-	1.054	-	-	1.124	-	-	3.128	-	1.100	1.962	-	259
Sudoeste (PI)	Baixa Grande do Ribeiro	980	-	-	1.220	-	-	1.262	-	-	3.077	-	1.100	1.821	-	259
Extremo Oeste (BA)	Formosa do Rio Preto	1.265	-	-	952	-	-	1.491	-	-	3.293	-	1.100	2.050	-	259
Vale São Franciscano (BA)	Serra do Ramalho	1.641	-	-	835	-	-	1.961	-	-	3.217	-	1.100	2.536	-	259

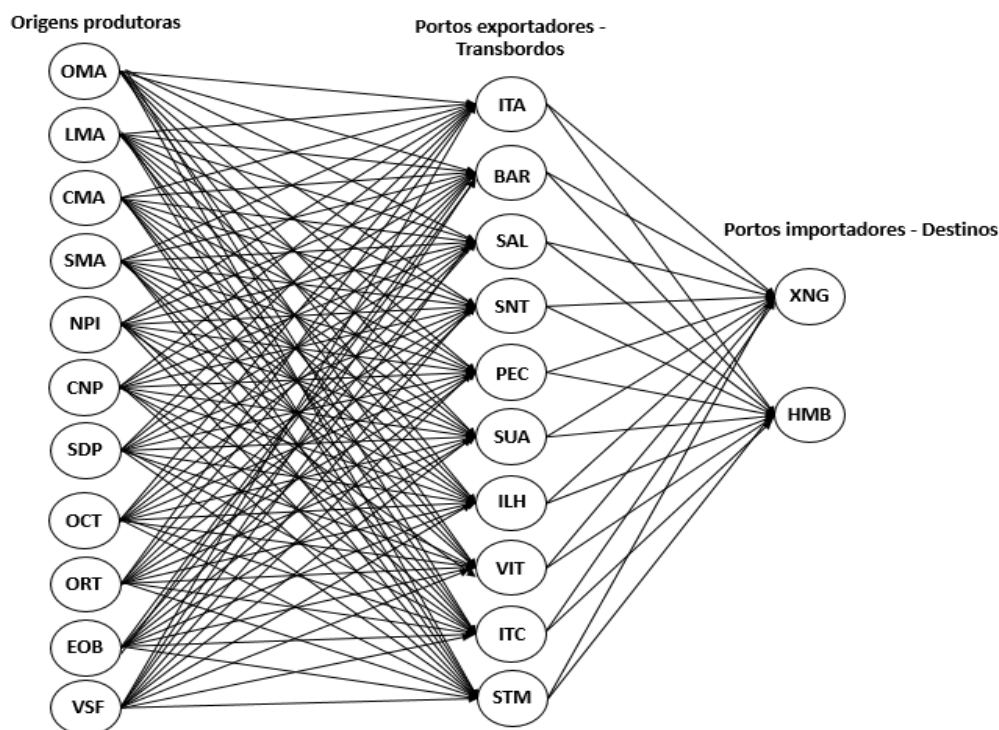
R - Rodoviário

F - Ferroviário

H - Hidroviário

Fonte: baseado em Google Maps (2018), Lopes et al. (2017a) e Lopes, Lima e Leal (2020).

Figura 2: Rede de transporte da soja para este estudo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Custos de transporte

Os custos foram estabelecidos a partir de SIFRECA (2018), Assis *et al.* (2014), Lopes, Ferreira e Lima (2015), Lopes et al. (2020) e Salin (2018) e estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4: Custos de transporte interno

Modal	Custo (R\$/Ton.km)
Rodoviário	0,1624
Ferrovário (mais de 1000 km)	0,0614
Ferrovário (menos de 1000 km)	0,0792
Hidroviário	0,027

Fonte: baseado em Assis *et al.* (2014), Lopes *et al.* (2020) e Salin (2018).

Nos trajetos que utilizam mais de um modal de transporte, atribui-se o custo de multimodalidade, que é o custo de alocação da carga: 2,22 R\$/ton (Lopes *et al.*, 2020). Os custos marítimos, por sua vez, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Custos marítimos

Custo de transporte do transbordo ao destino final (R\$/ton)			
Transbordo Porto exportador	Canal do Panamá Xangai	Cabo Boa Esperança Xangai	Caminho Direto Hamburgo
Itaqui (MA)	109,10	103,46	70,70
Salvador (BA)	122,20	93,56	82,30
Barcarena (PA)	108,04	106,51	73,11
Ilhéus (BA)	122,63	93,03	83,62
Santarém (PA)	114,88	107,63	83,65
Santos (SP)	127,49	94,08	85,75
Vitória (ES)	123,53	92,37	78,86
Pecém (CE)	115,27	100,10	69,20
Suape (PE)	118,79	93,45	71,76
Itacoatiara (AM)	107,63	111,41	79,71

Fonte: baseado em Salin (2018)

Na rota via Canal do Panamá, insere-se o custo de pedágio, cujo valor, para uma tonelada de soja transportada por um navio *neo panamax*, o mais recente utilizado nas novas eclusas do canal, custa 14,67 R\$/ton (Lopes *et al.*, 2017b).

CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS

Foram elaborados 8 cenários, com os dois últimos abordando uma capacidade futura de exportação da soja do MATOPIBA (Brasil, 2023). Para as origens, utilizou-se valores proporcionais de produção da safra 2016/17, conseqüentemente, exportações de 2017.

Com o principal objetivo de minimizar os custos totais de transporte em cada cenário, o estudo também toma como dimensões possíveis investimentos para escoamento do grão, integração logística e capacidade de portos do Arco Norte, a partir do resultado das otimizações. A Tabela 6 demonstra as ofertas das mesorregiões e a demanda dos destinos no ano de 2017.

Tabela 6: Ofertas e demandas em 2017

Mesorregiões	Oferta (Ton.)	Destinos	Demanda (Ton.)
Oeste Maranhense	71.081		
Centro Maranhense	26.655		
Leste Maranhense	213.243		
Sul Maranhense	1.466.047	Xangai	5.811.243
Ocidental Tocantins	1.267.256		
Oriental Tocantins	1.212.697		
Norte Piauiense	1.564	Hamburgo	1.023.903
Centro-Norte Pi	15.638		
Sudoeste Pi	1.546.641		
Extremo Oeste Ba	4.262.964		
Vale São Franciscano Ba	8.543		

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em ALICEWEB (2018) e SIDRA (2018).

Na Tabela 6, é possível perceber que a maior quantidade de soja demandada provém da China, e a mesorregião que apresenta maior oferta é o Extremo Oeste Baiano, que tem o maior índice de produção do MATOPIBA.

Para a construção dos três primeiros cenários, utilizou-se das rotas mostradas na Tabela 3. No cenário 1, não foram estabelecidas restrições de capacidade dos portos exportadores, pois o objetivo foi verificar o comportamento do fluxo para os portos de melhor localização, com o direcionamento para os menores custos, desprezando restrições reais.

No cenário 2, foram utilizados os portos atuais que a região MATOPIBA utiliza, excluindo os portos PEC, SUA, ITA e STM, para obter uma configuração próxima da realidade atual. Sendo assim, as capacidades dos portos utilizados nesse cenário foram as quantidades reais, que chegaram da região MATOPIBA para eles, no ano de 2017(Tabela 6). Apesar da região utilizar RGD e PCR, estes não são considerados neste estudo. Portanto, serão apenas atribuídas as cargas aos portos que se fazem presentes neste trabalho.

No cenário 3, restringiu-se a capacidade do porto do Itaqui em 2 milhões de toneladas, para evitar congestionamentos neste porto, que é o mais utilizado. Além disso, foi atribuída uma restrição de 2 milhões de toneladas para os portos já utilizados pela região, e 1 milhão de toneladas para os demais, incluindo os que não exportam soja, tendo como objetivo, equilibrar as quantidades enviadas e não congestionar também os SAL e BAR. As restrições para estes cenários encontram-se na Tabela 7.

Do cenário 4 ao 6, utilizou-se da rota multimodal para Barcarena, pela hidrovía Araguaia-Tocantins. Além disso, foram atribuídos os custos do modal ferroviário para as rotas rodoviárias que ligam as origens produtoras aos PEC, SUA, SAL, ILH. Ou seja, admitiu-se que 30% do valor destas distâncias seria analisado com o custo rodoviário de transporte (R\$/Ton.km) e os outros 70% do valor destas distâncias seriam calculados com o custo do modal ferroviário (R\$/Ton.km), incluindo o custo de multimodalidade. Por exemplo, da cidade de Formosa do Rio Preto para PEC são 1.377 km de distância, em que 30% desta

distância admite-se como custos rodoviários e os outros 70% atribuem-se os custos como modal ferroviário.

Tabela 7: Restrições para os cenários 1, 2 e 3

Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)
Itaqui	Sem restrições	Itaqui	4.436.571	Itaqui	2.000.000
Salvador	Sem restrições	Salvador	3.153.225	Salvador	2.000.000
Barcarena	Sem restrições	Barcarena	117.747	Barcarena	2.000.000
Ilhéus	Sem restrições	Ilhéus	89.919	Ilhéus	2.000.000
Santarém	Sem restrições	Santarém	0	Santarém	1.000.000
Santos	Sem restrições	Santos	7.963	Santos	2.000.000
Vitória	Sem restrições	Vitória	4.200	Vitória	2.000.000
Pecém	Sem restrições	Pecém	0	Pecém	1.000.000
Suape	Sem restrições	Suape	0	Suape	1.000.000
Itacoatiara	Sem restrições	Itacoatiara	0	Itacoatiara	1.000.000

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apesar de não serem valores precisos para as distâncias de ferrovias em processo de construção na região, estas atribuições foram feitas para analisar aproximadamente os custos de uma provável utilização das malhas ferroviárias que estão em construção, visto que estas visam interligar a região aos portos citados. Já a distância para BAR, pela hidrovía Araguaia-Tocantins, pode ser visualizada na Tabela 8.

As demais rotas para os outros portos, foram as mesmas consideradas nas Tabela 3. Portanto, somente com a alteração de custos nas rotas para os PEC SUA, SAL e ILH, e a utilização da hidrovía para BAR, segue-se as mesmas restrições utilizadas nos três primeiros cenários, tendo em vista comparar os custos entre eles. A Tabela 9, demonstra as restrições, iguais as da Tabela 7.

Nos cenários 7 e 8, serão analisadas as projeções para exportação de soja do ano de 2027. Sendo assim, a produção de soja da região MATOPIBA tende a crescer 30%, com o aumento em 33% pela demanda de soja dos países importadores (Brasil, 2017). Para este aumento de produção, a Tabela 10 demonstra a previsão da oferta de soja que cada mesorregião passará a oferecer em 2027, junto com a quantidade demandada prevista.

Tabela 8: Distâncias utilizando a hidrovia Araguaia-Tocantins para Barcarena

Mesorregião	Cidade Origem	Barcarena (PA)		
		R	F	H
Oeste (MA)	Açailândia	570	-	1.083
Centro (MA)	Grajaú	556	-	1.083
Leste (MA)	Brejo	1.142	-	1.083
Sul (MA)	Balsas	539	-	1.083
Ocidental (TO)	Caseara	217	-	1.083
Oriental (TO)	Mateiros	623	-	1.083
Norte (PI)	Piracuruca	1.222	-	1.083
Centro-Norte (PI)	Regeneração	1.049	-	1.083
Sudoeste (PI)	Baixa Grande do Ribeiro	840	-	1.083
Extremo Oeste (BA)	Formosa do Rio Preto	817	-	1.083
Vale São Franciscano (BA)	Serra do Ramalho	1.245	-	1.083

R - Rodoviário

F - Ferroviário

H - Hidroviário

Fonte: Baseado em Lopes et al. (2020)

Tabela 9: Restrições para os cenários 4, 5 e 6

Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)
Itaqui	Sem restrições	Itaqui	4.436.571	Itaqui	2.000.000
Salvador	Sem restrições	Salvador	3.153.225	Salvador	2.000.000
Barcarena	Sem restrições	Barcarena	117.747	Barcarena	2.000.000
Ilhéus	Sem restrições	Ilhéus	89.919	Ilhéus	2.000.000
Santarém	Sem restrições	Santarém	0	Santarém	1.000.000
Santos	Sem restrições	Santos	7.963	Santos	2.000.000
Vitória	Sem restrições	Vitória	4.200	Vitória	2.000.000
Pecém	Sem restrições	Pecém	0	Pecém	1.000.000
Suape	Sem restrições	Suape	0	Suape	1.000.000
Itacoatiara	Sem restrições	Itacoatiara	0	Itacoatiara	1.000.000

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1: Previsão de ofertas e demandas para 2027

Mesorregiões	Oferta (Ton.)	Destinos	Demanda (Ton.)
Oeste Maranhense	92.045		
Centro Maranhense	34.651		
Leste Maranhense	277.216		
Sul Maranhense	1.905.861	Xangai	7.728.953
Ocidental Tocantins	1.742.477		
Oriental Tocantins	1.667.458		
Norte Piauiense	2.150	Hamburgo	1.361.791
Centro-Norte Pi	21.503		
Sudoeste Pi	2.126.631		
Extremo Oeste Ba	5.861.576		
Vale São Franciscano Ba	11.747		

Fonte: Baseado em MAPA (Brasil, 2017).

Com a previsão das quantidades a serem ofertadas e demandadas, os cenários 7 e 8 são construídos sem restrições de capacidade, utilizando para o cenário 7 as rotas utilizadas nos cenários 1, 2 e 3. Já no cenário 8, as rotas utilizadas são as mesmas dos cenários 4, 5 e 6, com a hidrovía Araguaia-Tocantins para o BAR, e a alocação de custos ferroviários nas rotas rodoviárias para os portos de PEC, SUA, SAL, ILH.

Esses dois cenários são elaborados com o objetivo de comparar os custos, para a utilização de rotas diferentes, dentro da capacidade de fornecimento e demanda prevista para 2027, orientando para investimentos de capacidade nos portos de melhor localização e melhoria da infraestrutura de rotas multimodais, como a utilização de hidrovias e ferrovias.

Portanto, a partir da construção dos cenários, o tópico seguinte demonstra os resultados obtidos em programação Linear realizada no software EXCEL, no suplemento SOLVER, para cada cenário proposto. O programa gera soluções, a partir do modelo construído, visando atender as restrições impostas na atividade, com o menor custo possível. Além disso, é possível fazer uma análise comparativa entre as rotas e os cenários construídos, com seus respectivos custos logísticos. A fim de consolidar as informações dos cenários realizados, os resultados dos 8 cenários se encontram na Tabela 11, a fim de facilitar análises comparativas.

RESULTADOS E ANÁLISE DE CENÁRIOS

Após apresentação do Cenário 1, a Tabela 11 apresenta os principais resultados de todos os cenários realizados.

Tabela 11: Principais Resultados para todos os cenários

Cenário	Custo Total	Principais resultados
1	R\$ 1.595.579.061,00	SAL e ITA: maiores exportadores da soja do MATOPIBA. SAN, VIT, ITC e STM não foram escolhidos no resultado do modelo. PCM – Soja do Norte Piauiense – Destino: China, via Cabo. Este porto não exporta soja na realidade. Vale avaliação para rotas futuras e investimentos de capacidade. 6,9% da soja destinada a Hamburgo é produzida no Oeste Maranhense, escoada via BAR. 93,1% - ITA. Demais portos exportam somente para China.
2	R\$ 1.601.434.545,00	Não utilizou SAN e VIT BAR: recebe quantidade inferior. Toda a soja deste porto provém da região Oeste Maranhense. Destino apenas Hamburgo. 3 regiões não exportam para ITA. SAL: 100% Capacidade. Soja do Extremo Oeste Baiano. Destino: Xangai, via Cabo (54% da soja do MATOPIBA para a China). ILH: Pouca soja. Origem: Vale São Franciscano. Destino: China, via Cabo.
3	R\$ 1.653.463.394,00	SAL, ITA e ILH: 100% capacidade estabelecida. 62,7% da soja do Sul Maranhense se desloca de ITA para BAR BAR: 100% Hamburgo ILH recebe de SAL 47,6% do Extremo Oeste Baiano. PEC passa a exportar soja oriunda do Piauí. PEC, ILH e SAL: China
4	1.281.880.703,00	Custos 19,6% menores que o cenário 1. BAR passa a receber mais de 1 milhão de Toneladas, via multimodalidade. Ferrovias passam a ser positivas para SAL. SAL: Destino – 100% China. 90% do mercado chinês. Rotas multimodais exigem investimentos de capacidade em BAR e SAL.
5	R\$ 1.419.650.027,00	Economia de 11,4% em relação aos custos do Cenário 2. Aumento do escoamento por ILH. Assim como no cenário 2, o modelo não gerou resultados para SNT e VIT, concluindo que não são viáveis em termos de distâncias, e conseqüentemente de custos. Com a utilização da Araguaia-Tocantins para Barcarena, a soja da mesorregião Ocidental do Tocantins tende a se deslocar para este porto paraense, com destino final o porto de Hamburgo. Além de Barcarena, Itaqui exporta a maior quantidade para o mercado europeu, o equivalente a 88,56% do total demandado. Já o mercado chinês, como nos cenários anteriores, é abastecido principalmente pela soja do Extremo Oeste Baiano, que tem como ponto de transbordo Salvador
6	R\$ 1.317.431.821,00	Economia de 20,33% em comparação com o cenário 3. Com restrições de capacidade em outros portos, BAR passa a ser mais utilizado. Regiões mais utilizadas: mesorregião Ocidental do Tocantins e Sul Maranhense. ITA = diminuição de 84,46% na quantidade recebida, comparada ao cenário 3. Infraestrutura em rotas multimodais evitaria o congestionamento de cargas neste porto e ofereceria opções alternativas de exportação para os produtores. PEC = Passa a exportar 982.798 toneladas a mais do que exportaria no cenário 3. Integração logística multimodal faz com que PEC, ILH, SAL e BAR sejam mais utilizados do que ITA.

Continua (...)

(...) Continuação

7	R\$ 2.122.318.535,00	Previsão para 2027 Orientação de carga para SAL – Xangai, via Cabo. ITA e SAL são os principais pontos de transbordo da soja produzida no MATOPIBA, levando em consideração a atual infraestrutura de transportes. Com aumento de carga, sem investimentos em infraestrutura logística, portos e estradas tendem a sofrer congestionamento.
8	R\$ 1.701.976.645,00	SAL mais utilizado, com BAR assumindo o lugar de ITA. Mesorregião Ocidental do Tocantins passa a explorar a hidrovía Araguaia-Tocantins, rumo a BAR. Distribuição % do cenário 8 se assemelha à do cenário 4 é praticamente igual à do cenário 4. Cenário 8 = redução de custos de 19,8%, em relação ao cenário 7. Fatores = melhor infraestrutura projetada e distribuição dos modais na região. Maior utilização de BAR, SAL e PEC. Hamburgo recebe toda a soja via BAR. Em termos comerciais, a mesorregião Ocidental do Tocantins supriria a soja do MATOPIBA para a União Europeia, e o restante das mesorregiões enviaria para a China.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A partir da alteração de rotas, foi possível verificar que a utilização de mais de um modal pode beneficiar o transporte da soja do MATOPIBA rumo aos portos do Norte e Nordeste brasileiro, o que também é confirmado no trabalho de Amaral, Almeida e Morabito (2012), sobre a utilização de terminais integradores para transporte do grão. A análise comparativa entre os cenários propostos destaca que, com a atual configuração de rotas, os custos são maiores do que os previstos com a instalação de ferrovias e hidrovias, que auxiliariam no escoamento do grão.

Os cenários construídos com base na atual configuração logística existente indicam uma elevada quantidade de carga nos portos ITA e SAL, que são os principais responsáveis pelo escoamento da soja rumo à exportação. Além do mais, apesar de que, na realidade, parte da soja produzida no MATOPIBA seja transportada para os portos do Sudeste, os cenários indicam que para o mercado chinês e europeu, a soja deve ser escoada somente pelos portos do Norte e Nordeste, de acordo com a capacidade atribuída para cada um.

Os vetores de integração para o transporte da soja que podem ser descritos nos resultados deste trabalho, com base nos cenários que utilizam rotas potenciais são: a utilização da hidrovía Araguaia-Tocantins para o transporte da soja rumo a BAR, e a integração ferroviária do Nordeste, facilitando o acesso aos portos desta região.

Os cenários também indicam que os portos ITC e STM não são necessários para o transporte da soja produzida na região. Apesar destes dois portos estarem próximos do Canal do Panamá, as taxas para a utilização do canal são elevadas, o que dificulta a escolha desta rota por parte do modelo, tendo como base os custos proporcionais atribuídos neste trabalho. Sendo assim, de acordo com o modelo, é mais viável que toda a soja produzida no MATOPIBA seja transportada via Cabo da Boa Esperança para o porto de Xangai.

Além dos portos já utilizados para exportação da soja, o modelo proposto gera resultados para PEC, destacando a viabilidade de utilização deste porto. Mesmo com a atual estrutura rodoviária, o porto é escolhido para o escoamento da soja. Com a utilização de uma malha ferroviária, o acesso a este porto se tornaria ainda mais fácil, ocasionando o aumento da

quantidade de soja recebida, quando o porto não é restringido nos cenários. Sendo assim, este porto pode receber a soja que seria transportada para Itaqui, assim como o porto de Barcarena, com a utilização da multimodalidade. Os resultados para utilização da hidrovia proporcionam uma maior quantidade de carga escoada para BAR, principalmente quando os cenários são realizados sem restrições de cargas, comprovando que o porto pode servir como um importante ponto de transbordo da soja advinda do MATOPIBA. Já SUA, apesar de se localizar no Nordeste, não apresentou resultados de direcionamento de cargas em nenhum dos cenários, mesmo se utilizando de estrutura ferroviária para este porto.

PANORAMA DO SISTEMA EM 2023/2024

A pesquisa foi conduzida em 2019, com dados de 2017 e projeções para 2017 e 2027, sendo alternativas imediatas e baseada em projeções futuras. Em 2024, realizou-se pesquisa adicional para verificar o cenário atual da soja produzida e exportada pelo MATOPIBA, em relação a quantitativos, exportação, obras finalizadas e em andamento e projeções.

Apesar do destaque e da crescente expansão produtiva agrícola do MATOPIBA, as condições logísticas ainda são precárias, especialmente relacionadas a transporte terrestre, portuário e conectividade (FUNDAJ, 2021).

Em relação às ferrovias, a Ferrovia Transnordestina, para atender o MATOPIBA necessita da conclusão da fase 1. Para concluí-la, é necessário conectar o sertão do Piauí, a partir da cidade de Eliseu Martins no Piauí, passando por 53 municípios e conectando com o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CE). Esta etapa está programada para terminar até 2027. A fase 2 deve ser concluída até 2029. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), em 2024, cerca de 70% da fase 1 do projeto já está pronta (GP1, 2024).

A ferrovia da Integração Leste-Oeste, que ligará o Porto de Ilhéus à Ferrovia Norte-Sul em 3 trechos, numa extensão de 1500km, até a cidade de Figueirópolis, no Tocantins, está com obras em andamento, com previsão de conclusão da primeira etapa para o ano de 2026. Esta etapa (denominada FIOL1) possui aproximadamente 550km de extensão. As outras duas etapas aguardam concessão pelo governo Federal para início das obras.

Entre projetos e obras concluídas na região, a Ferrovia Norte-Sul (FNS) é a única que está em funcionamento. A região do MATOPIBA possui nove polos de cargas na FNS, visando a recepção e transferência de cargas para o transporte dos mais diversos tipos de mercadorias, além de dois terminais integradores administrados pela Valor Logística Integrada (VLI) para o recebimento e armazenagem de grãos nos municípios de Porto Nacional e Palmeirante, tendo como principais produtos a soja e o milho, com capacidade estática de armazenagem de 150 mil toneladas, podendo receber um volume anual de 6 milhões de toneladas de grãos (Brugnera e Dalchiavon, 2017). A VLI, em 2018, já possuía metade de sua receita oriunda do agronegócio frente aos 35% de cinco anos antes, dado os investimentos em expansão e modernização do modal ferroviário (Portos e Navios, 2018). Esta expansão de movimentação de produtos agrícolas também fomenta uma maior utilização dos portos, no caso, o Porto do Itaqui, cuja exportação de soja em 2018 foi, aproximadamente, 6% superior ao ano anterior (Portos e Navios, 2018).

CONCLUSÕES

Tendo como objetivo a proposição de um modelo matemático que pudesse reduzir custos de transporte da soja rumo à exportação, o estudo alcançou os objetivos propostos, baseando-se na estruturação do modelo de transbordo para a logística de exportação da soja produzida no MATOPIBA. Delimitando as origens, os pontos de transbordo e os destinos finais da soja, foi possível estruturar as rotas e, conseqüentemente, os seus custos de transporte através do SOLVER, gerando um melhor roteiro de transportes, de acordo com as restrições de cada cenário construído, sempre visando o menor custo possível. Portanto, as análises de rotas atuais e futuras foram construídas a partir de oito cenários, os quais demonstram a distribuição da soja, de acordo com as características do sistema.

Pode-se destacar que, com o aumento da demanda de soja para o futuro, reduzir custos de transporte é o que o governo brasileiro prevê, a partir dos projetos de construção e integração do interior para o litoral, como observado neste estudo, em que os modelos podem servir de parâmetro para vetores de investimento, em cada caso, destacando as quantidades que seriam transportadas e a infraestrutura necessária para o setor logístico.

Os resultados do modelo indicam a utilização da hidrovia Araguaia-Tocantins para o transporte da soja rumo a BAR e a integração ferroviária do Nordeste, facilitando o acesso aos portos desta região. Os cenários indicam alta quantidade de carga para os portos ITA e SAL, que são os principais responsáveis pelo escoamento da soja rumo à exportação. Apesar da utilização atual de portos do Sudeste, os cenários orientam o escoamento pelos portos do Norte e Nordeste.

O modelo sugere a não utilização de ITC, STM e SUA. Apesar de estarem localizados mais próximos do Canal do Panamá, custos logísticos internos e as taxas para a utilização do canal não justificam a utilização destes portos e da rota pelo Canal. O modelo indica que a soja produzida no Matopiba seja transportada via Cabo da Boa Esperança para o porto de Xangai.

O modelo também sugere a utilização de PEC, tanto atualmente, com a atual estrutura rodoviária quanto com a utilização de malha ferroviária. A hidrovia Araguaia-Tocantins proporcionaria uma maior utilização de BAR.

Apesar deste trabalho demonstrar números condizentes com a realidade atual das exportações, torna-se limitado devido ao comércio dos grãos no Brasil serem diversificados por contratos de produtores com *tradings*, entre outras empresas envolvidas, podendo ter a posse do grão e vender ou compartilhar com outros interessados, localizados em outras regiões do Brasil. Sendo assim, os destinos da soja do MATOPIBA tendem a mudar, sendo comprovado pelos números atuais, onde pode-se notar que a soja produzida na região é exportada pelos portos dos estados de Roraima, Paraná e Rio Grande do Sul, citados no segundo capítulo deste trabalho.

Vale ressaltar a influência real do modal ferroviário no sistema logístico agrícola da região. A operação da FNS orienta aumento significativo de carga para utilização do Porto do Itaqui. Assim, outros projetos ferroviários aumentariam a demanda destes produtos para outros Portos da região Nordeste, como Ilhúes, Suape ou Pecém.

O modelo torna-se limitado por tomar como origens apenas as cidades de maior índice de produção, destacando que há cidades que podem não ser grandes produtoras do grão, mas servem como pontos estratégicos, devido sua localização em determinada região. Outro fator que pode ser modificado é a real dispersão das malhas ferroviárias, que podem alterar determinadas distâncias e criar terminais intermodais para alocação de cargas, pois estes ainda podem sofrer alterações ao longo da construção.

Sendo assim, em busca de um padrão mais próximo possível da realidade, seria importante detalhar cada mesorregião analisada neste trabalho, a fim de se propor modelos em microrregiões, destacando não só as cidades com maiores índices de produção, como também os seus pontos estratégicos para escoamento da soja rumo à exportação. Como propostas para trabalhos futuros a partir desta pesquisa, pode ser elaborado um estudo para localização de terminais intermodais de cargas, baseando-se no método de centro de gravidade, analisando a concentração de produção de uma região.

Outro método viável para continuidade deste estudo é através de simulação a eventos discretos, analisando a logística de exportação do grão, em que pudessem ser feitas análises com destaque não somente para o transporte, mas também para os processos de armazenagem. Além do mais, um estudo de simulação detalhado abordando uma determinada microrregião, proporcionaria maiores detalhes de custos de transporte e de alocação de cargas, tanto em terminais multimodais ou intermodais, como também no descarregamento de cargas nos portos brasileiros, contando com os gastos com espera dos navios graneleiros nos portos brasileiros.

Portanto, este estudo serve de auxílio para orientação de investimentos, tanto em infraestrutura de rotas que interliguem origens produtoras aos portos exportadores, como também na capacidade destes portos, para que se possa minimizar os custos, prevendo os aumentos de demanda da soja. Mesmo não se utilizando das rotas potenciais, o modelo pode distribuir a soja de forma que o escoamento aconteça somente pelos portos do Arco Norte, evitando a utilização dos portos do sudeste e sul, os quais são os mais utilizados para exportação de soja. Sendo assim, trabalhando com capacidade atual destes portos e infraestrutura precária de transportes, pode-se minimizar os custos, como foi comprovado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. A. et al. Modelagem matemática e simulação para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada a China. **RACE**, Unoesc, v. 12, n. 1, p. 199-225, 2013.
- AGOSTINHO, F.; COSTA, M.; ALMEIDA, C. M.V.B.; MACENO, M. M.C.; GIANNETTI, B. F. Sustainability dynamics of the Brazilian MATOPIBA region between 1990-2018: Impacts of agribusiness expansion. **Applied Geography** 159:103080. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103080>
- AMARAL, M.; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n.2, p. 717-732, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000400005>
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ASSIS, T. F. et al. Análise de alternativas de rota de soja do estado do Mato Grosso para a exportação sob o enfoque econômico e ambiental. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2014, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Anpet, 2014.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

- BORGHI, E. et al. **Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA**. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Projeções do agronegócio**. Secretaria de Política Agrícola. Brasília-DF. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br> . 2023. Várias consultas.
- BRUGNERA, J. C; DALCHIAVON, F. C. Modal ferroviário e transporte de soja no MATOPIBA. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 3, n. 4, p. 48-56, 2017. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.4.48>
- COMEX STAT. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior. **Consulta Exportação**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/> . Várias consultas. 2024.
- CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A Precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o escoamento da Produção de Soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. **RESR**, Piracicaba, v. 48, n. 2, p. 447-472, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032010000200009>
- GOOGLE MAPS. **Pesquisa**. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps> >. Várias consultas. 2018.
- GP1. Canal de notícias do Piauí. Disponível em: <https://www.gp1.com.br/economia-e-negocios/noticia/2024/1/28/expansao-da-transnordestina-impulsiona-exportacao-de-soja-do-piaui-563862.html>. Acesso em 14 de março de 2024.
- HORVAT, R.; WATANABE, M.; YAMAGUCHI, C. K. Fertilizer Consumption in the Region MATOPIBA and Their Reflections on Brazilian Soybean Production. **International Journal of Agriculture and Forestry**. 2015, 5(1): 52-59 DOI:
- LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- LOPES, H. S.; LIMA, R. S. Alternatives for the soybean exportation in Brazil: An analysis of transport via the Tocantins-Araguaia waterway. **Custos e agronegócio online**, Recife, v.13, n.1, p.239-261, 2017.
- LOPES, H. S. et al. (b). Scenario analysis of Brazilian soybean exports via discrete event simulation applied to soybean transportation: The case of Mato Grosso State. **Research in Transportation Business & Management**. v. 25, p. 66-75, dec. 2017, Pages 66-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.09.002>
- LOPES, H. S. et al. Análise da influência do canal do Panamá na logística de escoamento da soja brasileira. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2017, Recife. **Anais...**Recife: Anpet, 2017b.
- LOPES, H. S.; LIMA, R. S.; LEAL, F. Simulation Project for Logistics of Brazilian Soybean Exportation. December 2020. **International Journal of Simulation Modelling** 19(4):571-582.
- OLIVEIRA, A. B. S.; LUCENA, M. A. SOUSA, E. P. Desempenho dos principais estados brasileiros exportadores de soja em grão no comércio internacional: Matopiba é eficiente? **Revista de Economia e Agronegócio - REA**. V. 20. N.2. 2022. pág. 3.
- Portos e Navios. **Matopiba puxa exportação de soja pelo Porto do Itaquí**. 2018, Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/matopiba-puxa-exportacao-de-soja-pelo-porto-de-itaqui>. Acesso em 12 de março de 2023.

SALIN, D. **Brazil Soybean Transportation Indicator Reports**. February 2018. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9752/TS052.02-2018>. Várias consultas.

SALIN, D. **Brazil Soybean Transportation Indicator Reports**. January 2015. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9752/TS052.01-2015>> Acesso em: 11 março. 2018.

SALIN, D. **Brazil Soybean Transportation Indicator Reports**. March 2017. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9752/TS052.03-2017> . Várias consultas.

SEA DISTANCE. **Consulta**. Disponível em: <https://sea-distances.org/> . Acesso em: 2 março. 2018.

SCRI. **Secretaria de Comércio e Relações Internacionais**. Exportações do agronegócio fecham 2022 com US\$ 159 bilhões em vendas. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-fecham-2022-com-us-159-bilhoes-em-vendas> Acesso em: 22 de outubro de de 2023.

SIDRA. Sistema De Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de tabelas e estatísticas. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/brasil>. Várias consultas. 2018.

SIFRECA. **Mercado de Fretes**. Disponível em: <http://sifreca.esalq.usp.br/> . Acesso em: 8 maio. 2018.